Innovation Management and Operational Strategies

http://www.journal-imos.ir

Innovation Management and Operational Strategies, Volume 1, Issue 4, Page: 363-382

Paper Type: Original Article

Measuring the Efficiency and Productivity of Cement Companies in Tehran Stock Exchange by Data Envelopment Analysis and Malmquist Productivity Index in Gray Environment

Farjam Kayedpour[1], Shadi Sayadmanesh*[1], Yasamin Salmani[2], Zahra Sadeghi[1]

[1]Department of Industrial Management, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran.

[2]Department of Management, College of Business, Bryant University, Smithfield, USA.

Citation:

Kayedpour, F, Sayadmanesh, Sh, Salmani, Y., & Sadeghi, Z. (2021). Measuring the efficiency and productivity of cement companies in tehran stock exchange by data envelopment analysis and malmquist productivity index in gray environment. *Innovation management and operational strategies, 1*(4), 363-382.

Received: 25/09/2020	Reviewed: 19/11/2020	Revised: 05/12/2020	Accept: 25/12/2020

Abstract

Purpose: In this study, in order to measure the efficiency and productivity of companies in the cement industry of the Tehran Stock Exchange, the gray data envelopment analysis approach and the Malmquist productivity index have been used.
Methodology: For this purpose, in the first step, we identify the appropriate financial ratios for measuring efficiency, then we calculate these ratios for each financial year in the form of gray numbers (intervals). In the next step, these ratios are divided into two groups of input variables and output variables under the title of research variables. Finally, the efficiency and productivity of the studied companies for the two fiscal years 2018 and 2019 by CCR and BCC models. Its components have been estimated.
Findings: The results of this study provide a suitable framework for using uncertain information (gray) to replace definite information and thus allow more realistic results to be estimated about the performance of companies.
Originality/Value: This study uses the Malmquist Gray Productivity Index to provide a framework for comparing productivity changes over time. This index measures the ratio of the measured efficiencies of a production unit in two different time periods.

Keywords: Financial ratios, Gray data envelopment analysis, Productivity, Gray Malmquist index, Distance functions.

JEL Classificaton: C02, C60.

* Corresponding Author
Email Address: shadi.sdm@gmail.com

doi 10.22105/IMOS.2021.276467.1038

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی

نوع مقاله: پژوهشی

www.journal-imos.ir

سنجش کارایی و بهره‌وری شرکت‌های صنعت سیمان بورس اوراق بهادار تهران توسط رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست در محیط خاکستری

فرجام کایدپور[1]، شادی صیادمنش[1،*]، یاسمین سلمانی[2]، زهرا صادقی[1]

[1]گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

[2]گروه مدیریت، دانشکده بازرگانی، دانشگاه برایانت، اسمیت‌فیلد، آمریکا.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۴	بررسی: ۱۳۹۹/۰۸/۲۹	اصلاح: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵	پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵

چکیده

هدف: در این پژوهش به‌منظور سنجش کارایی و بهره‌وری شرکت‌های عضو صنعت سیمان بورس اوراق بهادار تهران، از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری و همچنین شاخص سنجش بهره‌وری مالم‌کوئیست استفاده‌شده است.

روش‌شناسی پژوهش: برای این منظور در گام اول، اقدام به شناسایی نسبت‌های مالی مناسب در خصوص سنجش کارایی نموده، سپس این نسبت‌ها را برای هر سال مالی در قالب اعداد خاکستری (بازه‌ای) محاسبه می‌نماییم. در گام بعدی این نسبت‌ها تحت عنوان متغیرهای تحقیق، به دودسته متغیرهای ورودی و متغیرهای خروجی تقسیم‌شده و درنهایت کارایی و بهره‌وری بازه‌ای شرکت‌های موردمطالعه، برای دو سال مالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ توسط مدل‌های CCR و BCC رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری و همچنین شاخص مالم‌کوئیست خاکستری و اجزای تشکیل‌دهنده آن، برآورد گردیده است.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش به ارائه یک چارچوب مناسب برای استفاده از اطلاعات غیرقطعی (خاکستری) برای جایگزینی اطلاعات قطعی نموده است و بدین ترتیب امکان برآورد نتایج واقعی‌تری را در خصوص عملکرد شرکت‌ها فراهم آورد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: این مطالعه با فراهم آوردن چارچوبی برای مقایسه تغییرات بهره‌وری در طول زمان، از شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست خاکستری استفاده کرده است. این شاخص، نسبت کارایی‌های اندازه‌گیری شده‌ی یک واحد تولیدی را، در دو دوره‌ی زمانی مختلف، اندازه‌گیری می‌کند.

کلیدواژه‌ها: نسبت‌های مالی، تحلیل پوششی داده‌های خاکستری، بهره‌وری، شاخص مالم‌کوئیست خاکستری، توابع فاصله‌ای.

طبقه‌بندی JEL: C02، C60.

* **نویسنده مسئول**

آدرس رایانامه: shadi.sdm@gmail.com

شناسه دیجیتال:10.22105/IMOS.2021.276467.1038

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۶۳-۳۸۲

۱ـ مقدمه

محیط فعلی و جهانی اقتصاد، بسیار متلاطم بوده و مدیران با چالش‌های متعددی در این حوزه مواجه هستند (رهنمای رودپشتی و همکاران[1]، ۲۰۱۹). ارزیابی‌های مالی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین روش‌های مورداستفاده برای ارزیابی عملکرد شرکت‌ها می‌باشند. تجزیه‌وتحلیل‌های مالی که عمدتاً بر مبنای اطلاعات موجود در صورت‌های مالی انجام می‌پذیرند، اطلاعات ارزشمندی را در خصوص رویه‌ها، کیفیت، سود سهام و درنهایت نقاط قوت و ضعف شرکت و چگونگی موقعیت مالی آن ارائه می‌دهند. این نوع از تجزیه‌وتحلیل‌ها به‌خصوص اگر نقاط قوت و ضعف شرکت را در دوره‌های متفاوتی از زمان نشان دهند، برای شناخت شرایط گذشته و حال مفید بوده و ارزشی حیاتی برای تعیین استراتژی‌های آینده شرکت، خواهند داشت (تهرانی و همکاران[2]، ۲۰۱۲).

استفاده از نسبت‌های مالی یک روش چندوجهی است که نه‌تنها برای قضاوت در مورد سلامت مالی و عملکرد شرکت در یک دوره زمانی کارآمد است، بلکه ابزار مناسبی برای مقایسه وضعیت مالی شرکت با سایر شرکت‌های یک صنعت خاص و یا حتی سایر صنایع بوده و با مشخص ساختن نقاط ضعف و قوت، می‌تواند به بهبود شرایط شرکت کمک کند (دی باندیپایای و چاکرابرتی[3]، ۲۰۱۰).

بااین‌وجود، استفاده از نسبت‌های مالی به‌منظور ارزیابی وضعیت شرکت، همراه با مشکلاتی نیز می‌باشد. ازجمله این مشکلات می‌توان به این مسئله اشاره نمود که اگرچه نسبت‌های مالی به‌سادگی محاسبه می‌شوند، اما تفسیر آن‌ها اغلب مشکل و بحث‌برانگیز است. مخصوصاً زمانی که دو یا چند نسبت، نتایجی متضاد یکدیگر را نشان می‌دهند (مالهوترا[4]، ۲۰۰۸)؛ به‌عبارت‌دیگر به علت آنکه هر يك از نسبت‌های مالی يك بعد از عملکرد مالی سازمان را ارزیابی می‌کند (همانند نسبت‌های نقدینگی، نسبت‌های سودآوری و ...)، تجمیع نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها، معمولاً آسان نبوده و گاه حتی غیرممکن می‌باشد. از سوی دیگر، به‌منظور محاسبه نسبت‌های مالی از داده‌های قطعی (معمولاً اطلاعات صورت‌های مالی) استفاده می‌شود. این موضوع موجب می‌گردد تا نسبت‌های مالی تنها تصویری از عملکرد شرکت را در یک‌لحظه خاص نمایش دهند. به‌عنوان‌مثال در محاسبه نسبت جاری (مجموع دارایی‌های جاری تقسیم‌بر مجموع بدهی‌های جاری)، نمی‌توان ادعا نمود که میزان دارایی‌های جاری شرکت در طول سال مالی همواره یک مقدار ثابت و قطعی (مثلاً مقدار مندرج در ترازنامه حسابرسی شده شرکت) می‌باشد و در واقعیت حجم دارایی‌های جاری یک شرکت دائماً در حال تغییر می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور برطرف کردن دو مشکل مذکور، روش تحلیل پوششی داده‌های خاکستری[5] به کار گرفته‌شده است. تحلیل پوششی داده‌ها موجب می‌شود تا امکان تلخیص و تجمیع نتایج حاصل از نسبت‌های مالی به‌صورت یک شاخص قابل‌مقایسه فراهم گردد و از سوی دیگر استفاده از اطلاعات خاکستری (بازه‌ای[6]) به‌عنوان جایگزینی برای اطلاعات قطعی، این امکان را فراهم می‌کند تا به‌جای یک تصویر ثابت از عملکرد شرکت، حدود عملکرد آن شرکت در طول سال مالی محاسبه‌شده و نتایج واقعی‌تری حاصل گردد. همچنین به‌منظور فراهم آمدن چارچوبی برای مقایسه تغییرات بهره‌وری در طول زمان، در این مقاله از شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست خاکستری[7] استفاده‌شده است. شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست، نسبت کارایی‌های اندازه‌گیری شده‌ی

---

[1] Rahnamay Roodposhti et al.
[2] Tehrani et al.
[3] De, Bandyopadhyay and Chakraborty
[4] Malhotra
[5] Grey Data Envelopment Analysis
[6] Interval Data
[7] Grey Malmquist productivity Index

یک واحد تولیدی را، در دو دوره‌ی زمانی مختلف، اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص ناپارامتری که توسط فارِه و همکاران[1] (۱۹۹۴) ارائه‌شده، شاخصی ترکیبی است که می‌تواند با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری میزان تغییرات بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیری[2] (DMU) در طول زمان، به کار گرفته شود. با توجه به آنچه گفته شد، در ادامه ابتدا به بررسی پیرامون مفاهیم مرتبط با سنجش کارایی، شاخص‌های بهره‌وری کل و همچنین داده‌های خاکستری خواهیم پرداخت.

۲ـ ادبیات موضوع

۲ـ۱ـ تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تحلیل پوششی داده‌ها باعث به وجود آمدن زیربنایی برای اندازه‌گیری کارایی و مطالعات بهره‌وری در سطح خردشده است که موجب توسعه نگاهی جدید، در دو حوزه گردید:

– چگونگی تعریف کارایی و بهره‌وری.
– چگونگی سنجش کارایی و محاسبه‌ی تکنولوژی قابل الگوبرداری[3].

کارایی پیشنهادشده، شامل دو جزء است: کارایی تکنیکی[4] (فنی) و کارایی تخصیصی[5]. جزء اول نشان‌دهنده‌ی توانایی DMUها در به حداقل رساندن ورودی مورداستفاده، به‌منظور تولید مقدار مشخصی از خروجی است؛ و جزء دوم بیانگر میزان توانایی آن واحد، در خصوص استفاده از ورودی‌ها در نسبت‌های بهینه، با توجه به قیمت‌های مربوطه و تکنولوژی تولید می‌باشد. این دو معیار با هم‌اندازه‌ی کارایی کل را نشان می‌دهد (کولی و همکاران[6]، ۲۰۰۵).

بر اساس ایده‌های چارنز و همکاران[7] (۱۹۸۴) یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای اندازه‌گیری کارایی فنی، در برخورد با واحدهایی که شامل چند خروجی و چند ورودی می‌شوند، توسعه دادند (درویش متولی و همکاران[8]، ۲۰۱۹). این روش ناپارامتریک سنجش کارایی، به نام تحلیل پوششی داده‌ها، شناخته می‌شود. مدل‌های DEA به‌طورکلی هم می‌توانند اندازه‌ی کارایی را برای هر یک از DMUهای مورد ارزیابی، ارائه دهند و هم می‌توانند اطلاعات مفیدی در خصوص DMUهای ناکارآمد، بر اساس اهداف و عوامل مورداستفاده در اندازه‌گیری کارایی، فراهم آورند. مدل اولیه‌ای که توسط چارنز و همکاران معرفی گردید کارایی را به‌صورت نسبت مجموعه موزون ستاده‌ها به مجموعه موزون داده‌ها، در نظر می‌گیرد. آن‌ها با درک مشکلات موجود برای یافتن مجموعه مشترکی از وزن‌ها برای تعیین کارایی نسبی، پیشنهاد کردند که باید به هر واحد تصمیم‌گیری، اجازه داد تا مجموعه‌ای از وزن‌ها را برگزینند که آن واحد را در مطلوب‌ترین وضعیت نسبت به دیگر واحدها نشان دهد. آن‌ها برای این منظور، حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی را پیشنهاد کردند که در آن، کارایی واحد j اُم با فرض آن‌که کارایی همه‌ی واحدها کوچک‌تر یا مساوی یک در نظرگرفته شود، حداکثر می‌گردد. بدین ترتیب با حل این مدل برنامه‌ریزی خطی، مجموعه مشترک وزن‌های موردنظر

---

[1] Färe et al.
[2] Decision-Making Units
[3] Benchmark Technology
[4] Technical Efficiency
[5] Allocative Efficiency
[6] Coelli et al.
[7] Charnes et al.
[8] Darvish Motevalli et al.

چارنز و همکاران محاسبه گشته و درنتیجه امکان اندازه‌گیری کارایی نسبی محیا می‌شود (مومنی[۱]، ۲۰۰۸). این مدل سنجش کارایی به مدل CCR، معروف می‌باشد.

۲ـ۲ـ CCR (ورودی محور)

در مدل CCR ورودی محور به‌منظور حداکثرسازی نسبت مجموعه موزون خروجی‌ها به مجموعه موزون ورودی‌ها، صورت کسر یعنی مجموعه موزون خروجی‌ها برابر عدد یک در نظر گرفته‌شده و مخرج آن یعنی مجموعه موزون ورودی‌ها حداقل می‌گردد.

$$\begin{aligned} &\max\ \mu^T y_{j0} \\ &st: \\ &\quad \omega^T x_j - \mu^T y_j \geq 0, \qquad j=1,\dots,n, \\ &\quad \omega^T x_{j0} = 1, \qquad\qquad \omega \geq 0,\ \mu \geq 0. \end{aligned} \tag{1}$$

در مسئله برنامه‌ریزی خطی شماره (۱)، n تعداد DMUها و $x_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})$ و $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{sj})$ (همه مثبت) بردارهای ورودی و خروجی j اُمین DMU و m و s به ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند؛ و همچنین $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)^T$ و $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_m)^T$ (همه غیر منفی) معرف بردارهای وزن متغیرها می‌باشند که مقادیر آن‌ها باید با حل این مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی[۲] (Lp) تعیین شود (علی نژاد و میرمظفری[۳]، ۲۰۱۸). با توجه به تعریف DEA از کارایی، زمانی گفته می‌شود DMU_{j0} کارا است که یک راه‌حل بهینه‌ی (ω^0, μ^0) برای (۱). LP وجود داشته باشد که در آن $\mu^{0T} y_{j0} = 1$ و همچنین $\omega^0 > 0,\ \mu^0 > 0$ می‌باشند (یانگ[۴]، ۱۹۹۸).

۲ـ۳ـ CCR (خروجی محور)

محاسبه‌ی شاخص کارایی DEA خروجی محور، مشابه DEA ورودی محور است. در این حالت میزان کارایی، بر اساس بیشینه‌سازی نسبی خروجی‌ها، درحالی‌که مقادیر ورودی‌ها ثابت نگه‌داشته شده‌اند، به دست می‌آید. فرم خروجی محور عبارت است از:

$$\begin{aligned} &\min\ \omega^T x_{j0} \\ &st: \\ &\quad \omega^T x_j - \mu^T y_j \geq 0, \qquad j=1,\dots,n, \\ &\quad \mu^T y_{j0} = 1, \qquad\qquad \omega \geq 0,\ \mu \geq 0. \end{aligned} \tag{2}$$

پاسخ‌های به‌دست‌آمده از حل مسائل (۱) و (۲) نشان‌دهنده‌ی بازده نسبت به مقیاس ثابت[۵] (CRS) است؛ یعنی فرض شده است که تمامی واحدها در مقیاس بهینه عمل می‌کنند. بنکر و همکاران[۶] (۱۹۸۴) مدل CCR را با اضافه کردن

---

[1] Momeni
[2] Linear Programming
[3] Alinezhad & Mirmozaffari
[4] Yang
[5] Constant Returns to Scale
[6] Banker et al.

محدودیت $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1$ ، به فرم ثانویه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (۱) و (۲) به‌صورت بازده نسبت به مقیاس متغیر[۱] (VRS)، اصلاح کردند. با اضافه کردن این محدودیت، مرز پوششی جابه‌جاشده تا مشاهدات را از فاصله نزدیک‌تری پوشش دهد؛ بنابراین با توجه به آن‌که بر اساس بازده نسبت به مقیاس متغیر، همه‌ی DMUها در سطح مقیاس بهینه فعالیت نمی‌کنند، می‌توان کارایی کلی DMUها را به دو جزء کارایی (اثر) تکنیکی خالص[۲] و کارایی (اثر) مقیاس[۳] تجزیه کرد (الوارز[٤]، ۲۰۰۴).

مدل‌های بنکر و همکاران تحت عنوان مدل‌های BCC شناخته می‌شوند. این مدل‌ها همانند هر مدل برنامه‌ریزی خطی دیگری، علاوه بر فرم اولیه دارای یک فرم ثانویه نیز می‌باشند که به علت وجود محدودیت‌های کمتر، حل راحت‌تری نیز دارند. در اینجا به‌منظور رعایت اصل اختصار تنها فرم ثانویه آن‌ها در قالب مسائل برنامه‌ریزی خطی شماره (۳) و (۴) نشان داده‌شده است و در آن‌ها، λ و θ معرف متغیرهای ثانویه (۱) .Lp و (۲) .Lp می‌باشند.

۲ـ۴ـ BCC (ورودی محور)

$$
\begin{aligned}
& Min\ y_0 = \theta \\
& s.t: \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} \ge y_{r0}\ ;\ (r=1,2,\dots,s), \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} \le \theta x_{i0}\ ;\ (i=1,2,\dots,m), \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1, \\
& \quad \lambda_j \ge 0\ \ ;\ \ \theta: Free.
\end{aligned}
\tag{۳}
$$

۲ـ۵ـ BCC (خروجی محور)

$$
\begin{aligned}
& Max\ Z_0 = \theta \\
& s.t: \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} \le x_{i0}\ \ ;\ \ (i=1,2,\dots,m), \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} \ge \theta y_{r0}\ ;\ \ (r=1,2,\dots,s), \\
& \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1\ \ \ \ ;\ \ \ (j=1,2,\dots,n), \\
& \quad \lambda_j \ge 0\ \ ;\ \ \theta: Free.
\end{aligned}
\tag{۴}
$$

[1] Variable Returns to Scale
[2] Pure Technical Effect
[3] Scale Effect
[4] Alvarez

همان‌طور که گفته شد، این روش با فرض اینکه همه‌ی DMUها در مقیاس بهینه فعالیت نمی‌کنند، کارایی تکنیکی (TE) به کارایی ناشی از مقیاس و کارایی تکنیکی خالص تقسیم می‌شود. با توجه به آن‌که مدل DEA با بازده نسبت به مقیاس متغیر، کارایی تکنیکی یک واحد خاص را که وابسته به مقیاس نیست، نشان می‌دهد هرگونه تفاوت بین نتایج کارایی تکنیکی دو حالت CRS و VRS، نشان‌دهنده‌ی ناکارآمدی مقیاس خواهد بود (اشمیدل[1]، ۲۰۰۴). برای اندازه‌گیری ناکارایی مقیاس، نتایج مدل DEA برای حالت بازده نسبت به مقیاس متغیر (VRS) (به‌منظور حصول اطمینان از اینکه واحدهای ناکارای هم‌اندازه، با یکدیگر مقایسه می‌شوند) را در نظر گرفته نتایج مدل (CRS) را که دارای بازده نسبت به مقیاس ثابت می‌باشد را از آن کم می‌کنیم (بنکر و همکاران، ۱۹۸۴).

۶ـ۲ـ شاخص تغییرات بهره‌وری

از مفاهیم DEA هنگامی می‌توان استفاده نمود که تنها یک بازه‌ی زمانی را موردبررسی قرار می‌دهیم؛ و زمانی که در نظر داریم تغییرات نمونه‌های مختلف را در طول زمان باهم مقایسه کنیم، نیازمند نگاهی متفاوت خواهیم بود. اساساً هنگام بررسی دو دوره‌ی زمانی متوالی، دیگر صرفاً نمی‌توان مشاهدات مربوط به هر واحد تصمیم‌گیری را در مقابل مرز کارایی[2] همان دوره‌ی زمانی ارزیابی نمود، بلکه باید آن‌ها را همچنین در مقابل یک معیار دوم از دوره‌ی زمانی قبلی نیز اندازه‌گیری کرد. چنانچه مجموعه‌ی مناسبی از داده‌ها در دسترس باشند، امکان محاسبه‌ی تغییر در عملکرد یک DMU با مجموعه‌ی چندین ورودی و خروجی، در دو دوره‌ی زمانی متوالی، توسط شاخص مالم‌کوئیست فراهم می‌گردد. علاوه بر این، تجزیه‌ی شاخص مالم‌کوئیست ابزار مؤثری را برای محقق به‌منظور تشخیص اینکه بهبود در تغییرات کلی بهره‌وری، ناشی از بهبود در کارایی می‌باشد و یا بهبود در تکنولوژی، محیاء می‌سازد. این شاخص بهره‌وری، برای اولین بار به‌وسیله مالم‌کوئیست به‌منظور تعریف تابع فاصله‌ای پیشنهاد گردید (مالم‌کوئیست[3]، ۱۹۵۳)؛ اما این کاوس و همکارانش[4] (۱۹۸۲) بودند که توانستند شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست (MPI) را به فرم یک شاخص تئوریک در آورند؛ و نهایتاً این شاخص به‌وسیله فارِه و همکارانش در سال ۱۹۹۴ به‌عنوان یک شاخص کاربردی منتشر گردید (فاره و همکاران، ۱۹۹۴).

۷ـ۲ـ توابع فاصله‌ای

با توجه به آن‌که شاخص مالم‌کوئیست با استفاده از توابع فاصله تعریف‌شده است، پیش از توضیح در خصوص نحوه محاسبه آن لازم است در خصوص این توابع توضیح مختصری داده شود. توابع فاصله‌ای که اولین بار توسط شپارد[5] (۲۰۱۲) معرفی گردیدند، روشی بسیار فراگیر را برای محاسبه کارایی به دست می‌دهند. مفهوم کارایی در توابع فاصله‌ای که مبتنی بر مفهوم کارایی پیشنهادشده توسط فارل می‌باشد، توسط تکنولوژی تولید، تعریف می‌گردد.

اگر فرض کنیم که تولیدکننده‌ها از ورودی‌های $x=\left(x_1,\ldots,x_N\right)\in R_{+}^{N}$ برای تولید خروجی‌های $y=\left(y_1,\ldots,y_M\right)\in R_{+}^{M}$ استفاده می‌کنند. آنگاه می‌توان تکنولوژی تولید را به‌صورت مجموعه تولید زیر تعریف نمود:

---

[1] Schmiedel
[2] Efficient frontier
[3] Malmquist
[4] Caves et al.
[5] Shephard

$$T = \{(y, x): x \text{ can produce } y\}. \quad (۵)$$

تکنولوژی تولید را همچنین می‌توان بر اساس مجموعه‌ی ورودی‌ها به‌صورت زیر نشان داد:

$$L(y) = \{x : (y, x) \in T\}. \quad (۶)$$

که در آن برای هر $y \in R_+^M$ مجموعه ورودی‌هایی با مقدار یکسان[1]، به‌صورت زیر وجود دارد.

$$I(y) = \{x : x \in L(y), \lambda x \notin L(y), \lambda < 1\} \quad (۷)$$

و بر این اساس می‌توان زیرمجموعه‌هایی که ازنظر ورودی‌ها، کارا می‌باشند را به فرم زیر، تعریف نمود.

$$E(y) = \{x : x \in L(y),\ x' \notin L(y),\ x' \le x\}. \quad (۸)$$

که رابطه $E(y) \subseteq I(y) \subseteq L(y)$ برای این سه مجموعه برقرار می‌باشد.

ازآنجاکه بیشتر معیارهای سنجش کارایی برافزایش خروجی‌ها متمرکز هستند، می‌توان روند بالا را برای خروجی‌ها نیز تکرار کرد. بر این اساس، تکنولوژی تولید را ابتدا به‌صورت مجموعه‌هایی از خروجی‌ها نشان می‌دهیم:

$$P(x) = \{y : (x, y) \in T\}. \quad (۹)$$

که در آن برای هر $x \in R_+^N$ مجموعه خروجی‌هایی با مقدار یکسان، وجود دارد:

$$I(x) = \{y : y \in P(x), \lambda y \notin P(x), \lambda > 1\}. \quad (۱۰)$$

و

زیرمجموعه‌هایی که از نظر خروجی‌ها کارا می‌باشند:

$$E(x) = \{y : y \in P(x),\ y' \notin P(x),\ y' \ge y\}. \quad (۱۱)$$

این سه مجموعه نیز در $E(x) \subseteq I(x) \subseteq P(x)$ صدق می‌کنند (فرید و همکاران[2]، ۲۰۰۸).

شپارد (۲۰۱۲) توابع فاصله‌ی ورودی و خروجی محور را به‌منظور توصیف کاربردی تکنولوژی تولید معرفی کرد. بر این اساس تابع فاصله‌ی ورودی محور عبارت خواهد بود از:

$$D_I(y, x) = max\{\lambda : (x/\lambda) \in L(y)\}. \quad (۱۲)$$

که در آن، برای $x \in L(y)$ خواهیم داشت $D_I(y,x) \ge 1$ و برای مقادیر $x \in I(y)$ خواهیم داشت $D_I(y,x) = 1$. با توجه به مفروضات استاندارد T، تابع فاصله ورودی $D_I(y, x)$ در y غیر افزایشی و در x غیرکاهشی، همگن از درجه *1+* و مقعر می‌باشد.

---

[1] Isoquants

[2] Fried et al.

حال با استفاده از مفهوم توابع فاصله‌ای، میزان کارایی تکنیکی (TE_I) مدل ورودی محور فارل را می‌توان کمی دقیق‌تر به‌صورت مقدار تابع زیر نشان داد:

$$TE_I\left(y,\ x\right)=min\{\varphi:\varphi x\in L\left(y\right)\}. \qquad (۱۳)$$

و با استفاده از رابطه (۱۳) خواهیم داشت:

$$TE_I\left(y\ ,\ x\right)=1/D_I\left(y\ ,\ x\right) \qquad (۱۴)$$

که در آن، برای $x\in L\left(y\right)$ خواهیم داشت $TE_I\left(y,\ x\right)\le 1$ و برای مقادیر $x\in I\left(y\right)$ خواهیم داشت $TE_I\left(y,\ x\right)=1$.

تابع فاصله‌ای خروجی محور شپارد (۲۰۱۲) توصیف کاربردی دیگری از تکنولوژی تولید را فراهم می‌آورد. این تابع فاصله‌ای خروجی محور به شرح زیر است:

$$D_o\left(x\ ,\ y\right)=min\{\theta:\left(y\ /\ \theta\right)\in P\left(x\right)\}. \qquad (۱۵)$$

که در آن برای $y\in P\left(x\right)$ داریم $D_o\left(x,\ y\right)\le 1$ و برای $y\in I\left(x\right)$ نیز خواهیم داشت $Do\left(x,\ y\right)=1$. در اینجا نیز، اگر T را استاندارد فرض کنیم، تابع فاصله‌ای خروجی محور $Do\left(x,\ y\right)$ در x غیرافزایشی و در y غیرکاهشی، همگن از درجه ۱+ و محدب است.

تابع خروجی محور فارل که کارایی تکنیکی (TE_o) را اندازه‌گیری می‌کند را می‌توان کمی دقیق‌تر به‌صورت مقدار تابع زیر نشان داد:

$$TE_o\left(x,\ y\right)=max\{\rho:\rho y\in P\left(x\right)\}. \qquad (۱۶)$$

بر اساس رابطه (۱۶)، خواهیم داشت:

$$TE_o\left(x,\ y\right)=\left[D_o\left(x,\ y\right)\right]^{-1}. \qquad (۱۷)$$

برای هر $y\in P\left(x\right)$ داریم $TE_o\left(x,\ y\right)\ge 1$ و برای $y\in I\left(x\right)$ نیز خواهم داشت $TE_o\left(x,\ y\right)=1$ (فرید و همکاران، ۲۰۰۸).

در رابطه (۱۵)، θ یک عامل شعاعی است که جایگاه بردار خروجی y را به (y/θ) تطبیق می‌دهد و $\theta\in\left(0,\ \infty\right)$ که در آن θ=۱ نشان‌دهنده ماندن در موقعیت کنونی است. اگر $\theta\in\left(0,1\right)$ باشد بیانگر انبساط (حرکت به سمت مرز کارایی و کاهش تابع فاصله‌ای) و اگر $\theta\in\left(1,\ \infty\right)$ نشانه انقباض (دور شدن از مرز کارایی) می‌باشد. ازآنجایی‌که هدف انبساط است، بازه مطلوب ما $\theta\in\left(0,\ 1\right]$ می‌باشد که در آن θ کوچک‌تر نشانگر فاصله بیشتری تا مرز مجموعه خروجی می‌باشد. θ بزرگ‌تر به معنای فاصله کمتر تا مرز است؛ و θ=۱ مشخصاً نشان‌دهنده این است که انبساط بیشتر ممکن نیست زیرا مجموعه خروجی Y^t دقیقاً روی مرز قرارگرفته است. رابطه (۱۶) مفهوم مشابهی را برای $\rho\in\left[1,\ \infty\right)$ نشان می‌دهد؛ و به علت دوطرفه بودن آن، بازه ممکن برای تابع فاصله‌ای خروجی محور همچنان $\left(0,\ 1\right]$ می‌باشد. همان‌گونه که بحث شد، بیشترین مقدار تابع فاصله‌ای خروجی محور $D_o(x,y)$ برابر ۱ است مبنی

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۶۳-۳۸۲

بر اینکه واحد تولیدی بر روی مرز فعالیت می‌کند و کاملاً کارا می‌باشد. وقتی‌که مقدار تابع فاصله‌ای خروجی محور کمتر از یک باشد، واحد تولیدی در زیر مرز تولید می‌کند و به‌صورت فنی ناکارا در نظر گرفته می‌شود (کولی و همکاران، ۲۰۰۵).

۸ـ۲ـ محاسبه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست (MPI)

شاخص مالم‌کوئیست یکی از انواع شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل است که به چند جزء ازجمله تغییرات تکنولوژیک و تغییرات کارایی فنی کل، تغییرات کارایی مدیریت و تغییرات کارایی مقیاس قابل‌تفکیک است (مهرالحسنی و همکاران[1]، ۲۰۱۹). با استفاده از تابع فاصله از خروجی محوری که در رابطه (۱۵) تشریح گردید، شاخص مالم‌کوئیست خروجی محور را برای یک DMU_0 منفرد، بین دوره t و $t+1$ به‌صورت زیر تعریف می‌نماییم:

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}\right]^{\frac{1}{2}}. \quad (۱۸)$$

مقدار M_0 بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده بهبود کارایی ورودی ـ خروجی از دوره t تا $t+1$ و مقدار کمتر از ۱ نشان‌دهنده عدم بهبود کارایی ورودی – خروجی می‌باشد (کاوس و همکاران، ۱۹۸۲).

رابطه (۱۸) را می‌توان به‌صورت زیر تغییر داد و بدین ترتیب آن را به دو اثری که پیش‌تر اشاره گردید، تجزیه نمود.

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \sqrt{\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}}. \quad (۱۹)$$

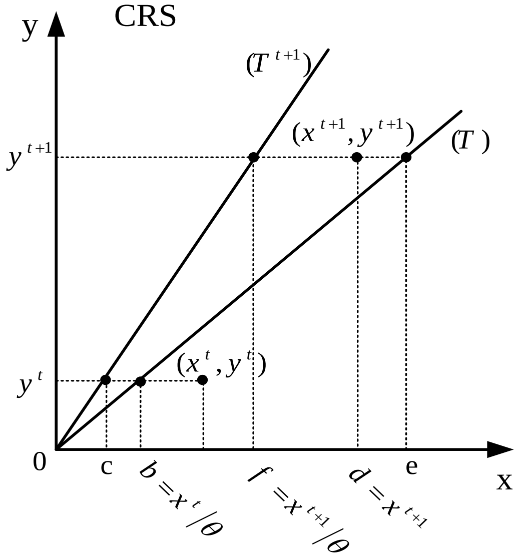
$$M = \Delta EFF.\Delta TECH. \quad (۲۰)$$

قسمت بیرون رادیکال، بیانگر تغییر در سطح کارایی است و معادل نسبت کارایی تکنیکی فارل، برای دوره زمانی t و $t+1$ می‌باشد؛ و عامل زیر رادیکال، میانگین هندسی تغییر تکنولوژی، برای سطوح ستاده y^t و y^{t+1} را نشان می‌دهد (سریفسوی[2]، ۲۰۰۶).

مقادیر بیشتر از یک شاخص مالم‌کوئیست بیانگر آن است که در بهره‌وری، بهبود اتفاق داده است. همین‌طور کاهش در سطح عملکرد، توسط شاخص مالم‌کوئیست کوچک‌تر از ۱ نشان داده می‌شود. به‌منظور تحلیل اجزای تشکیل‌دهنده شاخص مالم‌کوئیست نیز، به همین ترتیب عمل می‌شود. با توجه به آن‌که حاصل‌ضرب کارایی و تغییر تکنیکی، رشد بهره‌وری را در دو دوره زمانی متوالی، تعریف می‌کند. هر یک از این اجزا ممکن است که نتایج متضادی را نشان بدهند (اشمیدل، ۲۰۰۴).

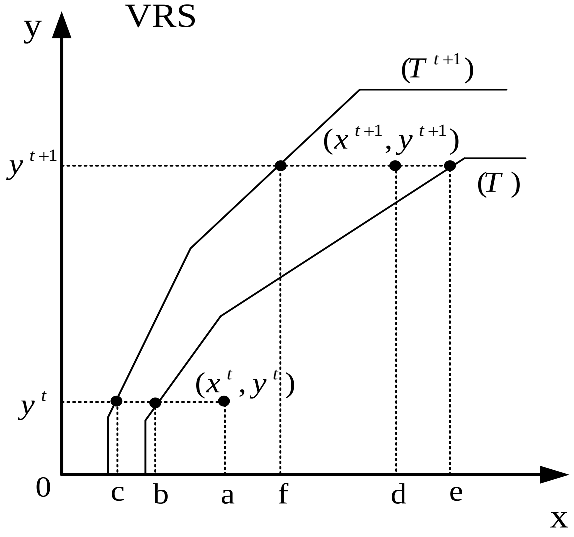
برای روشن شدن موضوع، تصاویر مربوط به عملکرد یک شرکت را در دو دوره زمانی متوالی در مورد توجه قرار می‌دهیم.

[1] Mehrolhassani et al.
[2] Serifsoy



شکل ۱- رویکرد مالم‌کوئیست ورودی محور برای CRS.

Figure 1- Malmquist input-driven approach for CRS.



شکل ۲- رویکرد مالم‌کوئیست ورودی محور برای VRS.

Figure 2- Malmquist input-driven approach for VRS.

شکل ۱ (حالت CRS) را در نظر بگیرید، در این شکل یک واحد تصمیم‌گیری برای دو دوره‌ی زمانی *t* و *t+1* به ترتیب با مرزهای کارایی T^t و T^{t+1} تصویر شده است که دارای یک ورودی (x)، یک خروجی (y) و بازده نسبت به مقیاس ثابت، می‌باشد. صرف نظر از ترکیبات ورودی و خروجی $\left(x^t, y^t\right)$ و $\left(x^{t+1}, y^{t+1}\right)$، شیب هر دو مرز کارایی، نشان می‌دهد که از دوره‌ی *t* تا *t+1* پیشرفت‌های تکنولوژی (که آن را با $\Delta TECH$ نشان می‌دهیم)، اتفاق افتاده است یا خیر. ازآنجاکه شیب مرز کارایی T^{t+1} تندتر از T^t می‌باشد، تکنولوژی باید پیشرفت کرده باشد، زیرا می‌توان در دوره *t+1* با ورودهای کمتر، همان مقدار خروجی را تولید نمود. این موضوع را به‌راحتی می‌توان با دقت در نقاط *b* و *c* شکل، نشان داد. این نقاط ورودی‌های موردنیاز برای تولید سطح یکسانی از خروجی‌های y^t را در دوره متوالی *t* و *t+1* نشان می‌دهند؛ بنابراین تولید همان سطح از خروجی‌ها با ورودی‌های کمتر $\left(0b - 0c\right)$، وقتی از تکنولوژی

T^{t+1}، استفاده می‌کنیم، امکان‌پذیر می‌باشد. برای مشاهده‌ی تغییرات کارایی (که آن را با ΔEFF نشان می‌دهیم)، باید نگاه دقیق‌تری به ترکیبات ورودی- خروجی یعنی $\left(x^t, y^t\right)$ و $\left(x^{t+1}, y^{t+1}\right)$ یک واحد تصمیم‌گیری داشته باشیم. همان‌طور که به نظر می‌رسد، هیچ‌یک از این دو، به شیوه‌ای کارآمد تولید نمی‌شوند. توجه داشته باشید که نقاط b و f نشان‌دهنده حداقل سطح ورودی لازم برای سطح خروجی موردنظر y^t و y^{t+1} را نشان می‌دهند. ازآنجاکه انحراف از مرز کارایی در دوره‌ی $t+1$ در مقایسه با دوره‌ی t افزایش‌یافته است، بنابراین کارایی برای این DMU کاهش می‌یابد. درمجموع دو عامل تغییر بهره‌وری DMU، یعنی $MQ = \Delta EFF \times \Delta TECH$ در جهت مخالف عمل می‌کنند. شکل ۲ (VRS)، حالت بازده نسبت به مقیاس متغیر را نشان می‌دهد که می‌تواند به‌طور مشابه‌ای تحلیل می‌شود. در اینجا نیز $T^t \subset T^{t+1}$، پیشرفت تکنولوژی اتفاق افتاده را نشان می‌دهد (سریفسوی، ۲۰۰۶).

همان‌طور که گفته شد، برای محاسبه و همچنین تجزیه شاخص مالم‌کوئیست از چهار تابع فاصله‌ای متفاوت $D^t\left(x^t, y^t\right)$، $D^{t+1}\left(x^t, y^t\right)$، $D^t\left(x^{t+1}, y^{t+1}\right)$ و $D^{t+1}\left(x^{t+1}, y^{t+1}\right)$ استفاده می‌شود.

برای تخمین این توابع مرزی، یک روش برنامه‌ریزی خطی مشابه DEA به کار گرفته می‌شود که به‌عنوان یکی از پراستفاده‌ترین تکنیک‌ها، به‌وسیله فار پیشنهادشده است.

با فرض بازده نسبت به مقیاس ثابت، برای مدل‌های DEA خروجی محور، مسائل برنامه‌ریز خطی موردنظر در مدل‌های (۲۱) تا (۲۴) فرموله شده است. باید توجه نمود که توابع فاصله‌ای در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (۲۱) و (۲۲) شامل اطلاعات تولید و تکنولوژی همان دوره‌های زمانی می‌باشند. دو مدل برنامه‌ریزی خطی دیگر، نقاط تولید یک دوره زمانی را با تکنولوژی مرجع دوره‌ی زمانی دیگر، مقایسه می‌کند. مدل‌های برنامه‌ریزی خطی خروجی محور به شرح زیر می‌باشند:

$$\begin{aligned}&\left[D^t(x^t, y^t)\right]^{-1} = \max\ \phi\\&St:\\&-\phi y_i^t + Y^t\lambda \ge 0,\\&x_i^t - X^t\lambda \ge 0,\\&\qquad \lambda \ge 0.\end{aligned} \tag{۲۱}$$

$$\begin{aligned}&\left[D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})\right]^{-1} = \max\ \phi\\&St:\\&-\phi y_i^{t+1} + Y^{t+1}\lambda \ge 0,\\&x_i^{t+1} - X^{t+1}\lambda \ge 0,\\&\qquad \lambda \ge 0.\end{aligned} \tag{۲۲}$$

$$\begin{aligned}&\left[D^{t+1}(x^t, y^t)\right]^{-1} = \max\ \phi\\&St:\\&-\phi y_i^t + Y^{t+1}\lambda \ge 0,\\&x_i^t - X^{t+1}\lambda \ge 0,\\&\qquad \lambda \ge 0.\end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$
\begin{aligned}
&\left[D^t(x^{t+1}, y^{t+1})\right]^{-1} = \max\ \phi \\
&St: \\
&-\phi y_i^{t+1} + Y^t\lambda \ge 0, \\
&x_i^{t+1} - X^t\lambda \ge 0, \\
&\qquad \lambda \ge 0.
\end{aligned}
\tag{۲۴}
$$

در مدل‌های فوق ϕ، معرف کارایی تکنیکی، λ بردار $N\times1$ اعداد ثابت و X و Y به ترتیب بیانگر ماتریس ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند.

این رهیافت می‌تواند برای بازده نسبت به مقیاس متغیر نیز به‌منظور تجزیه‌ی تغییر کارایی تکنیکی به اجزای آن یعنی کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص، توسعه پیدا کند. برای این منظور کافی است محدودیت محدب $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1$ را به‌تمامی مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (۲۱) تا (۲۴) اضافه نماییم (اشمیدل، ۲۰۰۴).

۲ـ۹ـ سیستم‌های خاکستری

سیستم‌های خاکستری در سال ۱۹۸۲ توسط جولانگ دنگ[1] معرفی گردید. در این سیستم، اطلاعات به ۳ بخش سفید؛ با اطلاعات کاملاً قطعی (معین)، خاکستری؛ با اطلاعات ناقص و سیاه؛ بدون هیچ‌گونه اطلاعاتی، تقسیم می‌شوند. سیستم‌های خاکستری در ارتباط با اطلاعاتی هستند که به دسته خاکستری (دسته دوم) تعلق دارند. به دلیل اطلاعات ناقص، بیشتر ویژگی‌های آماری سیستم به‌وضوح مشخص نیست. اگرچه، داده‌های در دسترس، یک محدوده‌ای از اطلاعات را مشخص می‌کند. استفاده از اطلاعات خاکستری مستلزم شناسایی داده‌های خاکستری و عملگرهای ریاضی مرتبط با آن‌ها می‌باشد. برای توضیح این موضوع فرض می‌کنیم اعداد خاکستری زیر را در اختیار داریم:

$$\otimes G_1 = \left[\underline{G}_1,\ \bar{G}_1\right]\quad \otimes G_2 = \left[\underline{G}_2,\ \bar{G}_2\right]$$

در اعداد خاکستری فوق، $\underline{G}_1$ و $\underline{G}_2$ حدود پایین و $\bar{G}_1$ و $\bar{G}_2$ حدود بالای اعداد خاکستری می‌باشند. همچنین عملیات ریاضی اعداد فاصله‌ای خاکستری به شرح زیر خواهد بود:

$$
\begin{aligned}
&\otimes G_1 + \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \bar{G}_1 + \bar{G}_2\right] \\
&\otimes G_1 - \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1 - \underline{G}_2, \bar{G}_1 - \bar{G}_2\right] \\
&\otimes G_1 \times \otimes G_2 = \\
&[\min\left(\underline{G}_1\underline{G}_2, \underline{G}_1\bar{G}_2, \bar{G}_1\underline{G}_2, \bar{G}_1\bar{G}_2\right), \\
&\max(\underline{G}_1\underline{G}_2, \underline{G}_1\bar{G}_2, \bar{G}_1\underline{G}_2, \bar{G}_1\bar{G}_2)] \\
&\otimes G_1 \div \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1, \bar{G}_1\right] \times \left[\frac{1}{\underline{G}_2}, \frac{1}{\bar{G}_2}\right] \\
&K\otimes \in [K\underline{G}, K\bar{G}]\ , K \in R^+ \quad .
\end{aligned}
$$

[1] Ju-Long Dang

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۶۳ـ۳۸۲

حال چنانچه فرض کنیم بردارهای داده و ستاده (ورودی و خروجی) مدل CCR همگی به‌صورت اعداد خاکستری هستند و آن‌ها را به‌صورت $\otimes x_j, \otimes y_j\,(j=1,\ldots,n)$ نشان دهیم، می‌توانیم تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها را برای داده‌های خاکستری، مورداستفاده قرار دهیم. بر این اساس مدل CCR خاکستری با اعداد خاکستری به‌صورت رابطه (۲۵)، قابل بازنویسی می‌باشد:

$$\begin{aligned}
&\max \ \ z=\mu^T \otimes y_{j0} \\
&st: \\
&\quad \omega^T \otimes x_j - \mu^T \otimes y_j \ge 0, \qquad j=1,\ldots,n, \\
&\quad \omega^T \otimes x_{j0} = 1, \qquad \omega \ge 0,\ \mu \ge 0.
\end{aligned} \tag{۲۵}$$

فرض می‌کنیم که اعداد خاکستری در این مدل اعداد خاکستری فاصله‌ای (پیوسته) هستند، به این معنا که حدود بالا و پایین آن‌ها مشخص هستند، اما مقادیر عددی واقعی آن‌ها مشخص نمی‌باشد. به‌طورکلی این اعداد خاکستری $\otimes a$ به‌صورت $\otimes a=[a,b]$ نشان داده می‌شوند که a حد پایین و b حد بالا می‌باشد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
\otimes x_j &= (\otimes x_{1j},\ldots,\otimes x_{mj})^T \ge 0 \\
&= ([a_{1j},b_{1j}],\ldots,[a_{mj},b_{mj}])^T \\
\otimes y_j &= (\otimes y_{1j},\ldots,\otimes y_{sj})^T \ge 0 \\
&= ([c_{1j},d_{1j}],\ldots,[c_{sj},d_{sj}])^T.
\end{aligned} \tag{۲۶}$$

بردارهای ورودی و خروجی DMU_j شامل داده‌های خاکستری فاصله‌ای (پیوسته) هستند. با توجه به خواص عملیاتی اعداد خاکستری، برنامه‌ریزی خطی (۲۵) را می‌توانیم با اعداد خاکستری فاصله‌ای به‌صورت استاندارد زیر بنویسیم:

$$\begin{aligned}
&\min \theta = \sum_{r=1}^{s}[-d_{rj0},-c_{rj0}]\mu_r \\
&st: \\
&\sum_{i=1}^{m}[a_{ij},b_{ij}]\omega_i + \sum_{r=1}^{s}[-d_{rj},-c_{rj}]\mu_r \ge 0,\ \ (j=1,\ldots,n), \\
&\sum_{i=1}^{m}[a_{ij0},b_{ij0}]\omega_i = 1 \qquad \omega \ge 0,\ \mu \ge 0.
\end{aligned} \tag{۲۷}$$

بر این اساس مقدار حد پایین محدودیت‌ها عبارت خواهد بود از:

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{m} a_{ij}\omega_i - \sum_{r=1}^{s} d_{rj}\mu_r \ge 0,\ \ (j=1,\ldots,n), \\
&\sum_{i=1}^{m} b_{ij0}\omega_i = 1, \qquad \omega \ge 0,\ \mu \ge 0.
\end{aligned} \tag{۲۸}$$

و مقدار حد بالای محدودیت‌ها نیز به‌صورت زیر در خواهد آمد.

بنابراین برنامه‌ریزی خطی خاکستری (۲۷) به دو برنامه‌ریزی خطی سفیدسازی شده به‌صورت زیر تجزیه می‌شود:

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۶۳-۳۸۲

$$\sum_{i=1}^{m} b_{ij}\omega_i - \sum_{r=1}^{s} c_{rj}\mu_r \geq 0,\ \ (j=1,\dots,n)(j \neq j_0),$$
$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij0}\omega_i = 1, \qquad \omega \geq 0,\ \mu \geq 0. \qquad (۲۹)$$

و

$$\min\ \theta = -\sum_{r=1}^{s} c_{rj0}\mu_r$$
$$st:$$
$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij}\omega_i - \sum_{r=1}^{s} d_{rj}\mu_r \geq 0,\ \ (j=1,\dots,n), \qquad (۳۰)$$
$$\sum_{i=1}^{m} b_{ij0}\omega_i = 1, \qquad \omega \geq 0,\ \mu \geq 0.$$

$$\min\ \theta = -\sum_{r=1}^{s} d_{rj0}\mu_r$$
$$st.$$
$$\sum_{i=1}^{m} b_{ij}\omega_i - \sum_{r=1}^{s} c_{rj}\mu_r \geq 0,\ \ (j=1,\dots,n)(j \neq j_0), \qquad (۳۱)$$
$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij0}\omega_i = 1, \qquad \omega \geq 0,\ \mu \geq 0.$$

با

حل مسائل برنامه‌ریزی خطی (۳۰) و (۳۱)، مقادیر بهینه متناظر با θ_1 و θ_2 به ترتیب و با تفکیک به دست می‌آیند. مقدار تابع هدف برنامه‌ریزی خاکستری (۲۷) $\min\ \theta = [\theta_1, \theta_2]$ می‌باشد. در حقیقت این نیز یک عدد خاکستری فاصله‌ای می‌باشد. برای مدل DEA خاکستری با اعداد خاکستری فاصله‌ای، میزان کارایی DMU_{j0} عدد خاکستری زیر است:

$$\max\ z = [-\theta_2, -\theta_1]. \qquad (۳۲)$$

چنانچه این فاصله شامل عدد یک باشد، گفته می‌شود DMU_{j0} ازنظر DEA خاکستری کارا می‌باشد و اگر $-\theta_2 \geq \lambda,\ -\theta_1 = 1$ برای $\forall \lambda \in [0.5,1]$ به‌شرط آنکه $\omega > 0,\ \mu > 0$ باشند، DMU_{j0} ازنظر DEA خاکستری و در سطح λ کارا می‌باشد (یانگ، ۱۹۹۴).

۳- داده‌های پژوهش

همان‌طور که پیش‌تر عنوان گردید، استفاده از نسبت‌های مالی به‌منظور سنجش عملکرد سازمان‌ها پیشینه‌ای طولانی داشته و کارآمدی آن‌ها، بارها موردسنجش قرار گرفته است. بااین‌حال نسبت‌های مالی عموماً با استفاده از اطلاعات مندرج در صورت‌های مالی شرکت، تصویر ثابتی از عملکرد را در یک‌لحظه خاص ارائه می‌دهند. حال‌آنکه در واقعیت، این اطلاعات در جریان فعالیت شرکت دائماً در حال تغییر بوده و مقدار قطعی‌ای برای آن‌ها در یک بازه زمانی (به‌عنوان‌مثال سال مالی) وجود ندارد. در این پژوهش به‌منظور آنکه نتایج حاصل از نسبت‌های مالی با واقعیت مطابقت بیشتری داشته باشد، به‌جای استفاده از اطلاعات قطعی، از داده‌های خاکستری (بازه‌ای) بهره گرفته‌شده است. برای این منظور ابتدا اقدام به شناسایی نسبت‌های مالی کارآمد برای سنجش عملکرد توسط مدل تحلیل پوششی داده و شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست نموده و سپس مقادیر این نسبت‌ها بر اساس گزارش‌های حسابرسی شده یا حسابرسی نشده ۳ ماهه، ۶ ماهه، ۹ ماهه و ۱۲ ماهه منتشرشده توسط سازمان بورس اوراق بهادار تهران، در

هرسال مالی محاسبه گردید. سپس بیشترین و کمترین مقدار به‌دست‌آمده برای هر یک از این نسبت‌ها به ترتیب به‌عنوان حد بالا و حد پایین آن نسبت در آن سال مالی در نظر گرفته شد. به عبارت بهتر، فرض گردید که مقدار نسبت مالی موردنظر در آن سال، در فاصله محاسبه‌شده در نوسان می‌باشد. سپس نتایج به‌دست‌آمده از این بخش به‌عنوان متغیرهای خاکستری پژوهش، مبنای سنجش عملکرد شرکت‌های تحت بررسی قرار گرفت.

برای این منظور، در ابتدا باهدف شناسایی نسبت‌های مالی مناسب، مطالعات مالهاترا (۲۰۰۸)، دی و همکاران (۲۰۱۱)، خواجوی و همکاران[1] (۲۰۰۵) و همچنین صدقیانی و همکاران[2] (۲۰۱۳)، در کنار سایر پژوهش‌های مرتبط با موضوع، مورد بررسی قرار گرفت. کارآمدترین نسبت‌های مالی برای استفاده به‌عنوان متغیرهای ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها، از میان طیف وسیعی از نسبت‌های مالی انتخاب گردید. همچنین تلاش شد نسبت‌هایی به‌عنوان متغیرهای تحقیق انتخاب شوند که عناصر تشکیل‌دهنده‌شان دارای نوعی روند (افزایشی یا کاهشی) نباشد تا بدین ترتیب مقادیر به‌دست‌آمده از متغیرهای پژوهش، در طول سال مالی قابل‌مقایسه با یکدیگر باقی بمانند. درنهایت هفت نسبت مالی از میان کارآمدترین و پرکاربردترین نسبت‌های مالی، به فرم زیر انتخاب گردیدند:

- متغیرهای ورودی

جمع بدهی‌های جاری و غیر جاری به جمع دارایی‌های جاری (R1)، جمع بدهی‌های جاری و غیر جاری به جمع دارایی‌های غیر جاری (R2)، جمع بدهی‌های جاری به جمع حقوق صاحبان سهام (R3).

- متغیرهای خروجی

سود (زیان) خالص به فروش (حاشیه فروش خالص) (R4)، قیمت هر سهم به سود سالیانه هر سهم (P/E) (R5)، جمع دارایی‌های جاری به جمع بدهی‌های جاری (نسبت جاری) (R6) و بهای تمام‌شده کالای فروش رفته به موجودی مواد و کالا (R7).

همچنین تفکیک نسبت‌های فوق به دو دسته متغیرهای ورودی و خروجی، بر اساس رویکرد مالهترا (۲۰۰۸) و ورتینگتن[3] (۱۹۹۸) صورت پذیرفته است. بر این مبنا نسبت‌هایی که افزایش آن‌ها به معنای افزایش کارایی شرکت می‌باشد به‌عنوان متغیرهای خروجی و نسبت‌هایی که کاهش آن‌ها به معنای عملکرد بهتر می‌باشد به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل DEA مورداستفاده قرار گرفتند.

۴ـ یافته‌ها

بر اساس آنچه ذکر گردید و با توجه به تحقیقات ژوو[4] (۱۹۹۶)، دسپوتیس و اسمیرلیس[5] (۱۹۹۶) و یانگ (۱۹۹۸)، به‌منظور محاسبه کارایی شرکت‌های عضو صنعت سیمان بورس اوراق بهادار تهران بر مبنای اعداد خاکستری، دو مدل بازده نسبت به مقیاس ثابت (مدل CCR) و بازده نسبت به مقیاس متغیر (مدل BCC) رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، در دو حالت ورودی و خروجی محور، یک‌بار برای حد بالای داده‌های خاکستری و یک‌بار برای حد پایین این داده‌ها به کار گرفته شد. کارایی بازه‌ای به‌دست‌آمده در حالت ورودی محور، برای دو مدل مذکور در دو سال ۱۳۹۷ و

---

[1] Khajavi et al.
[2] Sadaghiani
[3] Worthington
[4] Zhu
[5] Despotis and Smirlis

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۶۳–۳۸۲

۱۳۹۸ در جدول ۱، قابل‌مشاهده می‌باشد. لازم به توضیح است که به علت شباهت تقریبی نتایج حالت خروجی محور مدل‌های فوق، باحالت ورودی محور آن‌ها و به‌منظور اختصار مطالب، از ذکر نتایج حالت خروجی محور، اجتناب شده است.

جدول ۱ - نتایج DEA خاکستری ورودی محور.

Table 1- DEA gray input axis results.

DMU	مدل CCR 1397	مدل CCRمالی 1398	مدل BCC 1397	مدل BCCمالی 1398
1	[0.94,1]	[0.74,1]	[0.94,1]	[1,1]
2	[0.26,0.3]	[0.24,0.47]	[0.36,0.4]	[0.34,0.52]
3	[0.43,0.67]	[0.67,0.93]	[0.45,0.88]	[0.86,1]
4	[0.77,0.83] *	[0.42,0.68]	[0.89,0.97]	[0.43,0.77]
5	[0.44,0.84] *	[0.62,1]	[0.47,0.88] *	[0.64,1]
6	[0.63,1]	[0.73,1] *	[0.67,1]	[0.76,1] *
7	[1,1]	[1,1]	[1,1]	[1,1]
8	[0.4,0.51] *	[0.28,0.48]	[0.51,0.56]	[0.37,0.52]
9	[0.32,0.57]	[0.35,0.5]	[0.4,0.58]	[0.4,0.58]
10	[0.37,0.45] *	[0.44,0.57]	[0.46,0.47]	[0.49,0.59]
11	[0.92,1]	[0.71,1]	[0.94,1]	[0.73,1]
12	[0.29,0.7]	[0.23,0.78]	[0.34,0.7]	[0.29,0.78]
13	[0.63,1]	[0.53,1]	[0.64,1]	[0.6,1]
14	[0.79,0.96]	[0.31,0.68]	[1,1]	[0.38,0.72]
15	[0.48,0.51] *	[0.32,0.75]	[0.58,0.58]	[0.36,0.77]
16	[0.77,0.99]	[0.71,0.86]	[0.78,1]	[0.73,0.87]
17	[0.43,0.77]	[0.38,0.57]	[0.43,0.78]	[0.41,0.63]
18	[0.38,1]	[0.94,1]	[0.4,1]	[1,1]
19	[0.44,0.54]	[0.35,0.59]	[0.5,0.55]	[0.44,0.64]
20	[1,1]	[1,1]	[1,1]	[1,1]
21	[1,1]	[1,1]	[1,1]	[1,1]
22	[0.51,0.66]	[0.34,1]	[0.53,0.83]	[0.44,1]
23	[0.88,0.92] *	[0.6,0.89]	[0.92,0.92]	[0.61,0.89]
24	[0.35,0.53]	[0.3,0.6]	[0.44,0.57]	[0.34,0.63]
25	[0.99,1]	[0.59,1]	[1,1]	[1,1]
26	[1,1]	[0.37,1]	[1,1]	[0.37,1]
27	[0.36,0.5]	[0.4,0.55]	[0.38,0.54]	[0.41,0.59]
28	[0.26,0.64]	[0.41,1]	[0.36,0.84]	[0.42,1]
29	[1,1]	[0.81,1]	[1,1]	[1,1]

باید اشاره نمود در جدول ۱، حد بالای محاسبه‌شده برای بازه‌هایی که با علامت * مشخص‌شده‌اند، نسبت به حد پایین محاسبه‌شده برای آن‌ها، دارای مقداری کوچک‌تر می‌باشد؛ به‌عبارت‌دیگر فاصله بهترین عملکرد این شرکت‌ها با مرز کارایی حاصل از حد بالای اطلاعات، بیشتر از فاصله بدترین عملکرد آن‌ها تا مرز کارایی حاصل از حد پایین اطلاعات می‌باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۱ مشاهده می‌شود که از مجموع ۲۹ شرکت صنعت سیمان عضو بورس اوراق بهادار تهران، در سال ۱۳۹۷ بر اساس شاخص یانگ، تعداد ۱۰ شرکت توسط مدل CCR و همچنین ۱۲ شرکت توسط مدل BCC کارا تشخیص داده شده‌اند. از این تعداد در مدل CCR، ۵ شرکت به‌صورت کاملاً کارا (حد پایین و بالای کارایی

آن‌ها برابر یک می‌باشد) و ۵ شرکت حدوداً کارا (حد بالای کارایی آن‌ها برابر یک می‌باشد، اما حد پایین کارایی مقداری کمتر از یک دارد) می‌باشند. در مدل BCC نیز ۷ شرکت کاملاً کارا و ۵ شرکت دیگر حدوداً کارا می‌باشند. همچنین در سال ۱۳۹۸ از میان شرکت‌های موردمطالعه، ۱۱ مورد توسط مدل CCR و ۸ مورد توسط مدل BCC کارا تشخیص داده شده‌اند. برای این سال مدل CCR، ۳ شرکت را کاملاً و ۱۲ شرکت را حدوداً کارا شناسایی کرده و مدل BCC نیز تعداد ۷ شرکت را کاملاً و ۵ شرکت دیگر را حدوداً کارا تشخیص داده است.

همچنین لازم به توضیح است که DMUهای شماره ۷، ۲۰ و ۲۱ تنها شرکت‌هایی هستند که توسط هر دو مدل CCR و BCC ورودی محور، در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کارایی کامل را نشان می‌دهند.

با استفاده از اطلاعات جدول ۱، همچنین می‌توان ناکارایی مقیاس خاکستری را برای تک‌تک واحدهای موردبررسی، به دست آورد. با توجه به آن‌که مقیاس کارایی تکنیکی (TE) به‌دست‌آمده از مدل CCR را می‌توان، به دو جزء کارایی (ناکارایی) مقیاس و کارایی (ناکارایی) تکنیکی خالص، تجزیه نمود؛ بنابراین همان‌طور که پیش‌تر گفته شد ناکارایی ناشی از مقیاس عبارت خواهد بود از:

کارایی مدل CCR – کارایی مدل BCC = ناکارایی مقیاس

با به‌کارگیری عملیات جبری اعداد خاکستری، به‌سادگی می‌توان ناکارایی ناشی از مقیاس خاکستری را برای تمامی شرکت‌ها محاسبه نمود.

پس از انجام محاسبات مربوط به کارایی، لازم است میزان تغییرات بهره‌وری شرکت‌های موردمطالعه را از سال ۱۳۹۷ به سال ۱۳۹۸ محاسبه نماییم. به‌منظور محاسبه شاخص تغییرات بهره‌وری مالم‌کوئیست خاکستری، دو رویکرد متفاوت قابل‌استفاده می‌باشد. در رویکرد اول، می‌توانیم پس از حل چهار مسئله برنامه‌ریزی خطی خاکستری اشاره‌شده در بخش پیشین، نتایج خاکستری به‌دست‌آمده را (با توجه به عملیات جبری اعداد خاکستری)، درون رابطه (۱۸) جایگذاری کرده و شاخص مالم‌کوئیست خاکستری را محاسبه نماییم؛ اما با توجه به آن‌که برای محاسبه شاخص مالم‌کوئیست لازم است تا از حاصل‌ضرب نتایج به‌دست‌آمده از حل Lpهای مذکور جذر گرفته شود و از طرف دیگر جذر گرفتن از اعداد خاکستری موجب بر هم خوردن مقیاس این اعداد می‌گردد (به‌خصوص آن‌که توقع می‌رود نتایج شاخص مالم‌کوئیست در اطراف عدد یک نوسان کنند)، این رویکرد روش مناسبی به نظر نمی‌رسد. در این مقاله با توجه به آن‌که شاخص مالم‌کوئیست نیز همانند رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها نیازمند حل مسائل برنامه‌ریزی خطی می‌باشد از تکنیک مشابه‌ای که برای حل DEA خاکستری مورداستفاده قرار گرفت، بهره گرفته‌شده است. به این معنی که شاخص مالم‌کوئیست یک‌بار برای حد بالای داده‌های خاکستری و یک‌بار برای حد پایین این داده‌ها محاسبه‌شده است. به عبارت بهتر برای هرکدام از DMUهای موردبررسی در هر یک از مدل‌های CCR و BCC به‌جای ۴ مسئله برنامه‌ریزی خطی، ۸ مسئله حل گردیده است. نتایج این رویکرد، علی‌رغم آن‌که نیازمند محاسبات بیشتری می‌باشد، به نظر می‌رسد از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. این نتایج به‌صورت شاخص مالم‌کوئیست خاکستری در جدول ۲ قابل‌مشاهده می‌باشند. باید اشاره نمود که در این جدول نیز، برای بازه‌هایی که با علامت * مشخص‌شده‌اند، مقدار حد بالای به‌دست‌آمده از محاسبات، کوچک‌تر از مقدار حد پایین آن‌ها می‌باشد.

جدول ۲ - نتایج شاخص مالم‌کوئیست خاکستری در حالت ورودی محور.

Table 2 - Gray Malmquist index results in input-axis mode.

DMU	شاخص مالم‌کوئیست CCR	شاخص مالم‌کوئیست BCC
1	[1,1.01]*	[0.87,1]
2	[0.74,1.05]*	[0.84,1.03]*
3	[0.6,0.82]	[0.48,0.8]
4	[1.05,1.33]*	[1.06,1.38]*
5	[0.65,0.96]*	[0.62,0.97]*
6	[0.54,1.37]	[0.64,1.33]
7	[0.97,1]	[0.99,1]
8	[1.01,1.4]*	[1.07,1.23]*
9	[0.82,1.16]	[0.94,1.08]
10	[0.81,0.89]*	[0.85,0.9]
11	[0.95,1.12]*	[0.95,1.02]*
12	[0.91,1]*	[0.87,1.08]*
13	[0.87,0.88]	[0.91,0.91]
14	[1.26,2.11]*	[1.29,2.39]*
15	[1.18,1.62]*	[1.16,1.68]*
16	[0.85,1.03]	[0.86,1.04]
17	[0.87,1.1]	[0.88,1.06]
18	[0.37,0.93]	[0.4,1]
19	[0.95,1.03]*	[0.93,1.01]*
20	[1,1]	[1,1]
21	[1,1.08]*	[1,1.08]*
22	[0.73,1.19]*	[0.85,1.07]*
23	[0.89,1.31]*	[1.01,1.3]*
24	[1.09,1.21]	[1.14,1.21]*
25	[0.96,1.48]*	[0.93,0.98]
26	[1,2.42]*	[1,2.41]*
27	[0.82,0.96]	[0.87,1.13]
28	[0.6,0.65]	[0.76,0.83]*
29	[1.15,1.16]	[1.04,1.09]

به منظور تحلیل نتایج به‌دست‌آمده باید گفت، چنانچه حد بالا و پایین شاخص مالم‌کوئیست هر دو مقداری بیشتر از یک داشته باشند، می‌گوییم شرکت موردبررسی در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷ دارای رشد بهره‌وری کل می‌باشد. چنانچه حدود بالا و پایین به‌دست‌آمده برای شاخص مالم‌کوئیست خاکستری هر دو مقادیری کوچک‌تر از یک داشته باشند، می‌گوییم رشد منفی در بهره‌وری کل وجود داشته است و چنانچه فاصله به‌دست‌آمده برای شاخص شامل عدد یک باشد، می‌گوییم در خصوص بهره‌وری قابل‌ملاحظه‌ای صورت نپذیرفته است. جدول ۲ برای شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست نشان می‌دهد که از مجموع ۲۹ شرکت موردمطالعه تعداد ۹ شرکت در مدل‌های CCR و BCC دارای رشد مثبت بهره‌وری و همچنین ۹ شرکت دارای رشد منفی بهره‌وری و ۱۱ شرکت ازنظر رشد بهره‌وری بدون تغییر باقی مانده‌اند.

در این مقاله همچنین با استفاده از رابطه (۱۹)، تغییرات بهره‌وری به‌دست‌آمده در جدول ۲ را، به دو جزء تغییرات کارایی و تغییرات تکنیکی تفکیک نموده‌ایم. نتایج این تفکیک برای مدل‌های BCC و CCR در جدول ۳ قابل‌مشاهده می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت نیز، همانند نتایج شاخص مالم‌کوئیست قابل تشریح و توضیح می‌باشند. ذکر این نکته لازم به نظر می‌رسد نتایج بازه‌ای به‌دست‌آمده برای تغییرات کارایی و تغییرات تکنیکی نیز بر اساس محاسبات مشابه شاخص مالم‌کوئیست صورت پذیرفته است. به این معنی که شاخص‌ها یک‌بار برای حد بالا و یک‌بار برای حد پایین مشاهدات محاسبه شده‌اند. به همین سبب حاصل‌ضرب خاکستری تغییرات کارایی در تغییرات

تکنیکی، در هر دو مدل CCR و BCC تنها برای ۱۲ DMU دقیقاً برابر شاخص مالم‌کوئیست خاکستری می‌شود که این مسئله به علت ماهیت اعداد خاکستری بازه‌ای و نحوه به‌کارگیری عملگر ضرب در خصوص این اعداد می‌باشد.

جدول شماره ۳ - تغییرات مرتبط با کارایی و تغییرات مرتبط با تکنولوژی.
Table 3 - Performance-related changes and technology-related changes.

ΔTech (BCC)	ΔEFF (BCC)	ΔTech (CCR)	ΔEFF (CCR)	DMU
[0.93,1]	[0.94,1]	[0.8,1]	[1,1.26]	1
[0.97,1.11]	[0.76,1.07]	[0.95,1.15]	[0.64,1.11]	2
[0.9,0.92]	[0.52,0.88]	[0.94,1.14]	[0.64,0.73]	3
[0.67,0.84]	[1.26,2.07]	[0.68,0.93]	[1.13,1.96]	4
[0.71,1.33]	[0.47,1.37]	[0.71,1.49]	[0.44,1.36]	5
[0.95,1.01]	[0.67,1.32]	[0.86,1]	[0.63,1.37]	6
[0.99,1]	[1,1]	[0.97,1]	[1,1]	7
[0.9,1.01]	[1.07,1.37]	[0.77,1.21]	[0.83,1.83]	8
[0.94,1.09]	[0.99,1]	[0.9,1.01]	[0.92,1.15]	9
[0.92,1.13]	[0.8,0.92]	[0.87,1.27]	[0.64,1.02]	10
[0.79,0.95]	[1,1.29]	[0.86,0.95]	[1,1.3]	11
[0.92,0.98]	[0.9,1.18]	[0.8,1.02]	[0.9,1.25]	12
[0.85,0.91]	[1,1.08]	[0.73,0.88]	[1,1.18]	13
[0.91,0.93]	[1.38,2.61]	[0.82,0.89]	[1.41,2.57]	14
[1.03,1.56]	[0.74,1.62]	[1.01,1.83]	[0.65,1.6]	15
[0.8,0.9]	[1.06,1.15]	[0.78,0.89]	[1.09,1.16]	16
[0.84,0.86]	[1.05,1.23]	[0.76,0.82]	[1.14,1.35]	17
[0.98,1]	[0.4,1]	[0.91,0.93]	[0.41,1]	18
[0.89,1.08]	[0.86,1.14]	[0.81,1.04]	[0.91,1.27]	19
[1,1]	[1,1]	[1,1]	[1,1]	20
[1,1.08]	[1,1]	[1,1.08]	[1,1]	21
[0.89,1.03]	[0.83,1.21]	[0.79,1.1]	[0.66,1.5]	22
[0.87,0.99]	[1.02,1.49]	[0.86,0.9]	[0.99,1.53]	23
[0.92,1.25]	[0.91,1.32]	[0.91,1.37]	[0.89,1.19]	24
[0.93,0.98]	[1,1]	[0.89,0.96]	[1,1.67]	25
[0.9,1]	[1,2.68]	[0.9,1]	[1,2.69]	26
[0.94,1.24]	[0.91,0.93]	[0.92,1.05]	[0.9,0.92]	27
[0.9,0.98]	[0.84,0.84]	[0.97,1.01]	[0.62,0.64]	28
[1.04,1.09]	[1,1]	[0.93,1.16]	[1,1.24]	29

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به سنجش کارایی و بهره‌وری شرکت‌های عضو صنعت سیمان بورس اوراق بهادار تهران پرداخته است؛ بدین منظور از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری و همچنین شاخص سنجش بهره‌وری مالم‌کوئیست استفاده‌شده است. در این راستا، تلاش گردیده است تا با ارائه یک چارچوب مناسب، استفاده از اطلاعات غیرقطعی (خاکستری) را جایگزین اطلاعات قطعی نموده و بدین ترتیب امکان برآورد نتایج واقعی‌تری را در خصوص عملکرد شرکت‌ها فراهم آورد.

در این پژوهش، در گام اول، به شناسایی نسبت‌های مالی مناسب در خصوص سنجش کارایی پرداخته شد، سپس بر اساس نسبت‌ها مالی، برای هرسال مالی، در قالب اعداد خاکستری (بازه‌ای) محاسبه گردید. در گام بعدی این نسبت‌ها تحت عنوان متغیرهای تحقیق، به دودسته متغیرهای ورودی و متغیرهای خروجی تقسیم‌شده و درنهایت کارایی و بهره‌وری بازه‌ای شرکت‌های موردمطالعه، برای دو سال مالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ توسط مدل‌های CCR و BCC رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری و همچنین شاخص مالم‌کوئیست خاکستری و اجزای تشکیل‌دهنده آن، برآورد گردیده است. نتایج نشان داد رشد (یا کاهش) بهره‌وری در مدل‌های CCR و BCC تنها برای پنج DMU شماره ۱، ۱۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۷ با یکدیگر متفاوت است و برای سایر DMUها این نتایج هم‌نوا می‌باشند.

منابع

Alinezhad, A., Mirmozaffari, M. (2018). Malmquist productivity index using two-stage dea model in heart hospitals. *Iranian journal of optimization*, *10*(2), 81-92.
Alvarez, M. A. G. (2004). *Market-based land reform: violence, efficiency, and redistribution in rural Colombia*. University of Connecticut.
Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, *30*(9), 1078-1092.
Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrical: journal of the econometric society*, *50*, 1393-1414.
Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science & Business Media.
Darvish Motevalli, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., Shoja, N., Gholamabri, A. (2019). A new model for calculating the efficiency of existing cement companies with a network structure (an application of data envelopment analysis). *Financial engineering and portfolio management*, *10*(38), 65-93. (in Persian) http://fej.iauctb.ac.ir/article_664732.html?lang=fa
De, A., Bandyopadhyay, G., & Chakraborty, B. N. (2011). Application of the factor analysis on the financial ratios and validation of the results by the cluster analysis: an empirical study on the Indian cement industry. *Journal of business studies quarterly*, *2*(3), 13-31.
Despotis, D. K., & Smirlis, Y. G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. *European journal of operational research*, *140*(1), 24-36.
Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., & Roos, P. (1994). Productivity developments in Swedish hospitals: a Malmquist output index approach. In *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications* (pp. 253-272). Springer, Dordrecht.
Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American economic review*, *84*(1), 66-83.
Fried, H. O., Lovell, C. K., Schmidt, S. S., & Schmidt, S. S. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford University Press.
Ju-Long, D. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & control letters*, *1*(5), 288-294.
Khajavi, Sh., Salimifard, A. R., & Rabieh, M. (2005). The application of data envelopment analysis (DEA) in determining a portfolio of the most efficient companies accepted at Tehran Stock Exchange. *Journal of social sciences and humanities of shiraz university*, *22*(2), 75-89. (In Persian). URL: https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=51348
Lee, J. Y., & Kim, D. (2013). Bank performance and its determinants in Korea. *Japan and the world economy*, *27*, 83-94.
Mahotra, D. K., & Malhotra, R. (2008). Analyzing financial statements using data envelopment analysis. *Com, lending rev.*, *23*, 25-39.
Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de estadística*, *4*(2), 209-242.
Mehrolhassani M, Goudarzi R, Yazdi Feyzabadi V, Pourhosseini S, Darvishi A. (2019). Efficiency and productivity measurement in research sector of iranian medical sciences universities using data envelopment analysis and malmquist index. *Iranian journal of epidemiology*. *14*, 1-11. (in Persian) URL: http://irje.tums.ac.ir/article-1-6139-fa.html
Momeni, M. (2008). *New topics in operations research.* University of Tehran.
Sadaghiani, J. S., Amiri, M., & Kayedpour, F. (2013). Performance measurement of companies of pharmaceutical substances industry in Tehran Stock Exchange with the approach of COLS and DEA. *Life science journal*, *10*(8), 70-91.
Schmiedel, H. (2004). *Performance of international securities markets*. Helsinki: Bank of Finland.
Serifsoy, B. (2006). *Essays on stock exchange efficiency, business models, and governance* (Doctoral dissertation, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Wirtschaftswissenschaften, Darmstadt).
Shephard, R. W. (2012). *Cost and production functions*. Springer Science & Business Media.
Tehrani, R., Mehragan, M. R., & Golkani, M. R. (2012). A model for evaluating financial performance of companies by data envelopment analysis: a case study of 36 corporations affiliated with a private organization. *International business research*, *5*(8), 8-16.
Worthington, A. C. (1998). The application of mathematical programming techniques to financial statement analysis: Australian gold production and exploration. *Australian journal of management*, *23*(1), 97-113.
Yang, Y. S. (1998). Data envelopment analysis (DEA) model with interval gray numbers. *International journal of information and management sciences*, *9*(4), 11-23.
Rahnamay Roodposhti, F., Imeni, M., & Sayadmanesh, S. (2019). BSC application and innovative methods of developed in the management accounting and strategic decisions of performance measurement. *Decisions and operations research*, *4*(3), 246-261. (in Persian) doi: 10.22105/dmor.2020.215116.1135
Zhu, J. (1996). Robustness of the efficient DMUs in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, *90*(3), 451-460.